

Endodontide Lazer Uygulamaları

Laser Applications in Endodontics: Review

Cihan YILDIRIM,^a
Emine ŞİRİN KARAARSLAN^b

^aEndodonti AD,
^bRestoratif Diş Hekimliği AD,
Gaziantep Üniversitesi
Diş Hekimliği Fakültesi, Gaziantep

Geliş Tarihi/Received: 04.08.2011
Kabul Tarihi/Accepted: 13.12.2011

Yazışma Adresi/Correspondence:
Emine ŞİRİN KARAARSLAN
Gaziantep Üniversitesi
Diş Hekimliği Fakültesi,
Restoratif Diş Hekimliği AD, Gaziantep,
TÜRKİYE/TURKEY
karaarslan.emine@gmail.com

ÖZET Çok hızlı bir şekilde gelişen lazer teknolojisi ile günümüzde çeşitli özelliklere sahip birçok lazer diş hekimliğinin kullanım alanına girmiştir. Bu çalışmada, lazerin endodontide kullanım alanları olarak vitalite testi, direkt pulpa kuafajı ve pulpektomi, kök kanallarının dezenfeksiyonu, kök kanallarının modifikasyonu, kırık kanal aletleri veya güta-perka gibi yabancı cisimlerin kök kanalından uzaklaştırılması incelendi. Endodontide lazer uygulamalarının geleneksel yöntemlere göre herhangi bir avantajının olup olmadığı tartışıldı. Endodontide lazerin kullanım alanlarıyla ilgili yayınlanan birçok makale incelenerek sonuçları tartışıldı. Diş vitalitesi değerlendirilmesinde kullanılan Lazer Doppler Flowmetry (LDF) oldukça sağlıklı bilgi vermesine rağmen pahalı oluşu ve uygulama zorluğu dezavantaj oluşturmaktadır. Direkt pulpa kuafajında ise lazer uygulamasının mevcut yöntemlere göre daha başarılı olabileceği sonucuna varılmıştır. Lazerle kök kanallarının dezenfeksiyonunda da oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Lazerin derin dentin tabakalarında da etkili olabilmesi, günümüzde kullanılan klasik dezenfeksiyon yöntemlerine iyi bir alternatif olabileceğini göstermektedir. Günümüzde kullanılan lazerlerin kök kanalına uygulama ile ilgili dezavantajları bulunmakta ve bu dezavantajları ortadan kaldırmak ve lazerin kök kanallarında daha etkin bir şekilde kullanılabilmesi için çeşitli uçlar geliştirilmesine devam edilmektedir. Lazer kullanımında uygulanacak tedaviye göre uygun parametreler seçilmesi hem tedavi etkinliğini artıracak hem de ortaya çıkabilecek yan etkileri minimuma indirebilecektir. Elde edilen bu bilgiler ışığında, gelişen teknoloji ile beraber lazerin endodontide önemli bir yere sahip olacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Dentin; kök kanalı tedavisi; diş pulpasına işlem; diş pulpa testleri lazerler

ABSTRACT A variety of lasers are currently in practice with the fast developing laser technology. In this review, as the usage in endodontics of lasers pulp vitality, direct pulp capping and pulpectomy, disinfection of root canals, root canal modification and removal of broken instruments or root canal content as gutta-percha were investigated. Various articles were investigated related with the laser applications in endodontics. However, Laser Doppler Flowmetry (LDF) using in pulp vitality testing, represents very good results, it is an important disadvantage, that LDF is so expensive and hard to use. Laser applications represents more successful results in direct pulp capping treatment according to the present procedures. Many articles reported very successful results with laser for root canal disinfection. Because of the laser can be effective in the deep layers of dentin, it can be a good alternative to the present root canal disinfection procedures. The laser used in root canals has some disadvantages and to solve this problem and to use the laser in root canals effectively, new effective laser probes has been developing. The optimum parameters have to be chosen to increase the effectiveness and to prevent the side effects of the laser. With this knowledge it is predicted that with the developing technology laser may participate a very important role in endodontics.

Key Words: Dentin; root canal therapy; dental pulp capping; dental pulp test; lasers

Cok hızlı bir şekilde gelişen lazer teknolojisi ile günümüzde çeşitli özelliklere sahip birçok lazer diş hekimliğinin kullanım alanına girmiştir. Lazerler endodontide vitalite testi, direkt pulpa kuafajı, vital pulpektomi, kök kanallarının dezenfeksiyonu, temizlenmesi, şekillendirilmesi, ve kırık kanal aletleri veya guta-perka gibi yabancı cisimlerin kök kanalından uzaklaştırılması gibi birçok amaçla kullanılmaktadır.¹⁻¹⁷

Başarılı bir kök kanal tedavisi esas olarak, mikroorganizmaların kök kanal sisteminden başarılı bir şekilde uzaklaştırılması ile sağlanır. Bu, kök kanalının biyomekanik preparasyonu ile gerçekleştirilmektedir. Ancak, yapılan çalışmalar, kök kanalındaki mikroorganizmaların tamamının uzaklaştırılmasının neredeyse imkânsız olduğunu göstermiştir.¹⁸⁻²⁰ Hatta Ni-Ti döner aletler kullanılmasına rağmen kanalların bir kısmı hiç dokunulmadan kalmaktadır.²¹

Nd: YAG, Argon ve Diyot lazer sistemlerinde, lazer ışınları kök kanalına bir fiber optik uç yardımıyla iletilmektedir. Bu sistemlerde etkili bir uygulama, uygun çapta esnek bir optik fiber ucu gerektirmektedir. Bu yüzden fiber ucun apikal bölgeye rahatça ulaşım uygulama yapılabilmesi için lazer uygulaması öncesinde geleneksel yöntemlerle ön kök kanal preparasyonu yapılması tavsiye edilmektedir.²² Lazerlerin mikroorganizmalar üzerindeki bakterisit özelliğini arttırabilmek için de preparasyonu takiben ve kök kanallarını doldurmadan önce kullanılması faydalı olacaktır. Ayrıca, kök kanal duvarlarında lazer ışınının daha etkili olabilmesi için çeşitli şekillerde fiber optik uçlar geliştirilmektedir.²³⁻²⁵

Lazer sistemleri ile debris veya mikroorganizma oranında büyük bir azalma sağlanmasına rağmen iki önemli dezavantaj karşımıza çıkmaktadır.^{22,25,26} Bu iki dezavantaj da, fiber optik uçtan lazer ışınlarının düz bir doğrultuda yayılmasıyla ilişkilidir. "Smear" tabakası, debris ve mikroorganizmaların uzaklaştırılması mümkündür, fakat bütün kök kanal duvarlarının temizlenebilmesi lazer ışınlarının düz bir doğrultuda yayılmasından dolayı zordur. Yan kanalların temizlenebilmesi ise neredeyse imkânsızdır.²⁷ Yasuda ve ark. yaptıkları

bir çalışmada düz kanallarda büyük oranda bakteriyel eliminasyonu sağlanabilmesine rağmen, eğri kanallarda apikal kısımda etkinliğin büyük oranda azaldığını bildirmişlerdir.²⁸ İkinci dezavantaj ise prosedürün güvenliğiyle ilgilidir. Fiber optik uçtan ışınlar doğrusal olarak yayıldığı için apikal foramenlerden lazer ışınlarının dışarı taşma riski vardır. Bu da destek dokularda istenmeyen sonuçlara yol açabilir ve hatta mental foramen ve mandibular sinir gibi komşu anatomik yapılarda hasara yol açabilir.

Her geçen gün artan bir popüleriteye sahip olan lazerlerin endodontide kullanımını inceleyeceğimiz bu çalışmada, konuyu birkaç başlık altında sıralayabiliriz:

TEŞHİS AMAÇLI LAZER KULLANIMI

Retina, renal korteks, deri gibi mikrovasküler sistemlerde kan akışını tespit edebilmek amacıyla geliştirilen Lazer Doppler Flowmetry (LDF) cihazı diş hekimliğinde de pulpadaki kan akışını tespit etmek için kullanılmaktadır. Bu yöntem, pulpadaki kan akışını ölçmek için girişimsel olmayan, objektif, ağrısız ve yarı kantitatif bir metottur.^{29,30} Diğer vitalite test yöntemleri ile karşılaştırıldığında sinirsel değil vasküler yanıt alındığı için daha güvenilir bir yöntemdir.³¹ Tekrarlanabilir ve güvenli bir yöntem olduğu için pulpal kan akışını tespit etmede altın standart olarak kabul edilmektedir.³² Özellikle travmatize olmuş dişlerde uyarılabilirlik azaldığı için LDF diğer yöntemlere göre iyi bir alternatif olarak düşünülebilir. Ancak yüksek maliyet gerektirmesi ve uygulama zorluğu nedeni ile klinik pratikte kullanımı çok yaygınlaşmamıştır.³³

LDF, bir sıvı akışında taşınan partiküllerin hızı ve sayısını ölçülebilir hale getiren optik bir ölçüm yöntemidir.³⁴ Bu teknikte asıl olarak 632,8 nm dalga boyuna sahip helium-neon (He-Ne) lazer ve 780 ve 780-820 nm dalga boylarındaki yarı iletken diyot lazerler de kullanılmıştır.^{27,35} Lazer ışığı pulpaya diş yüzeyine yerleştirilen fiber optik uç yardımıyla iletilir.³³

Ön dişlerde mine ve dentin tabakası ince olduğu için herhangi bir problem oluşturmazken, arka bölgede özellikle molar dişlerde mine ve den-

tin tabakası kalın olduğu için pulpa kan akışında farklı sonuçlar elde edilebilir.^{27,35} LDF yönteminde, komşu dokulardaki yansımalar nedeni ile oluşabilecek hataları önlemek için de rubber dam takılması gerekmektedir.³⁵

LDF'nin endikasyonları:

1. Pulpa vitalitesini tespit etmek için.

2. Küçük yaştaki hastalarda hassasiyet testleri subjektif ve hastanın vereceği yanıtı dayalı olduğu için LDF iyi bir alternatif oluşturmaktadır.³⁴

3. Yaşa bağlı pulpada kan akışındaki değişiklikleri izlemek için LDF kullanılabilir. Bu sistem kullanılarak yapılan bir araştırmada, yaşla birlikte pulpadaki kan akışının yavaşladığı izlenmiştir.³⁶

4. Egzersiz sırasında artan nabızla beraber pulpadaki kan akışının da dinlenme durumundakine oranla ortalama %38 oranında değiştiği gösterilmiştir.³⁷ Egzersizle pulpa kan akışında meydana gelen bu değişikliklerin izlenmesi LDF'nin bir diğer kullanım alanıdır.

5. Lokal ve sistemik farmakolojik ajanların meydana getirdiği değişiklikleri izlemek için de LDF kullanılmıştır.^{38,39} LDF ile %2'lik 1:100 000 epinefrin içeren lidokain ile uygulanan bukkal infiltrasyon anestezisi ile pulpada kan akışının önemli oranda azaldığı tespit edilmiştir.⁴⁰

KUAFAJ VE PULPA AMPUTASYONU

Erişkin hastaların geleneksel pulpa tedavi seçenekleri arasında pulpa kuafajı ve kök kanal tedavisi vardır. Direkt veya indirekt pulpa kuafajı sürecinin sonucunda, %44-%97 arasında değişen oranlarda başarı sağlanmaktadır.²⁷ Pulpa kuafajı endikasyonu olmadığı durumlarda pulpa ekstirpasyonu ve kök kanal tedavisi uygulanmaktadır. Gelişimini tamamlamamış sürekli dişlerde ise kök ucu formasyonu tamamlanana kadar devitalizasyon ve kök kanal tedavisi tavsiye edilmemektedir.²⁷ Bu yüzden endodontik seçenekler arasında pulpa amputasyonu da bulunmaktadır. Bu amaç için kullanıldığında lazerin dokuyu buharlaştırma, pıhtılaşma ve küçük kan damarlarını tıkama özelliğiyle kansız bir ortam sağlaması daha kolay olacaktır. Ayrıca, tedavi edilen yara yüzeyi steril hale gelecektir.²⁷

Pulpa kuafajında kalsiyum hidroksit, diğer adeziv materyallere göre daha az toksik olması, mineralizasyonu uyarması ve antibakteriyel özellikleri nedeni ile yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.⁴¹ Bununla beraber mineral trioxide aggregate (MTA) da çok kısa sürede daha az inflamasyona neden olarak daha iyi dentin köprüsü oluşturabildiği için direkt kuafajda tercih edilmektedir.⁴² Son yıllarda ise düşük yoğunluklu lazer terapisi (DYLT) antiinflatuar etkisi ile ödemin çözülmesi ve iyileşmenin uyarılmasını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.⁴³ Bu yöntemin, travma sonrası açığa çıkan pulpanın tedavisi için de kullanılabilceği önerilmektedir.⁴³

İlk kez 1987 yılında Melcer ve ark., CO₂ lazer ile köpeklerde açığa çıkmış pulpada hemostaz sağlamak için lazer tedavisinden faydalanmıştır.⁴⁴ 1998 yılında ise Moritz ve ark. yaptıkları çalışmada CO₂ lazerin insan dışında de direkt pulpa kuafajı uygulamasında faydalı sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.^{45,46} Diğer taraftan, diyet lazer gibi düşük güçteki lazerlerin de pulpa ve kafatası kültür hücrelerinde farklılaşma ve mineralizasyonda hızlanma meydana getirdiği gözlenmiştir.^{47,48} Son zamanlarda yapılan bir çalışmada Yasuda ve ark., CO₂ lazerin rat pulpasında stimülasyon meydana getirdiğini göstermiştir.⁴⁹

Lazer ışınlamasının mineralizasyonda önemli bir rol oynadığı için kollajen yapımını etkilediği düşünülmektedir.⁵⁰ Ancak, CO₂ lazerin meydana getirdiği stimülasyonun mekanizması tam olarak açıklığa kavuşturulamamıştır.⁴⁹ Ferriello ve ark. da, 680 nm dalga boylu diyet lazer uyguladıkları L-929 fibroblast hücreleri üzerinde proliferasyon meydana gelmediğini, bunun da kuafaj için herhangi bir avantaj oluşturmayacağını belirtmişlerdir.⁴³

Sert dokularda kullanılmaya başladıktan sonra Er:YAG lazer klinisyenler arasında artan bir popülariteye sahip olmaya başlamıştır.⁵¹ Daha çok sert dokuda kullanılan Er:YAG lazerin de direkt pulpa kuafajı uygulamasında dentin köprüsü oluşumu tespit edilmiş ve pulpada herhangi bir yan etki meydana getirmemiştir.⁵² Er:YAG lazer uygulamasında oluşan dentin köprüsünün daha homojen ve düzgün olduğu gözlenmiştir.⁵² Benzer şekilde, yapılan hayvan deneyi çalışmalarında CO₂ lazer uy-

gulanan direkt kuafajlarda, büyük miktarda pulpa açığa çıkmış olmasına ve bakteri kontaminasyonuna maruz bırakılmasına rağmen çok başarılı sonuçlar elde edilmiştir.^{53,54}

Çok güçlü lazer enerjisi tedavinin başarısızlıkla sonuçlanmasına neden olabileceği için pulpa kuafajı ve amputasyonunda kullanılan lazer parametreleri oldukça önemlidir.³¹

KÖK KANALI MODİFİKASYONU

Kök kanal tedavisinin başlıca amacı, uygun dezenfeksiyon yöntemleriyle kök kanalının temizlenip şekillendirilerek kök kanal sisteminden periapikal bölgeye sıvı ve mikroorganizma geçişini önlemek için sızdırmaz bir şekilde doldurulmasıdır. Günümüzde pulpal ve periapikal patolojiler, geleneksel yöntemlerle, geliştirilen yeni alet ve tekniklerle beraber büyük oranda başarıyla tedavi edilmesine rağmen, başarısızlıklar meydana gelebilmektedir. Bu gibi vakalar, araştırmacılar ve klinisyenler için yeni bir materyal, yöntem ve teknik konusunda daha az postoperatif rahatsızlık ve daha yüksek başarı oranları elde etmek için bir araştırma konusu olmaktadır.

Kök kanalı enstrümantasyonu sırasında kök kanalı duvarlarında organik ve mineral debris oluşur. "Smear" tabakası, dentin kanallarını tıkayarak ve geçirgenliğini azaltarak faydalı olabileceği gibi, bakteri ve bakteri artıklarının barınmasını sağlayarak da problem oluşturabilir.⁵⁵ Lazer ile bu "smear" tabakasının uzaklaştırılması veya dentin yüzeyinin eritilerek tıkanma sağlanması amaçlanmaktadır.

İlk kez Weichman ve Johnson 1971 yılında, yüksek güçte CO₂ lazer ile apikal forameni tıkamak için kök kanalına lazer uygulamışlardır.⁵⁶ Lazerler kök kanalındaki dokuları buharlaştırarak "smear" tabakasını uzaklaştırır ve kök kanalının apikal kısmındaki artık dokuları elimine eder.⁵⁷⁻⁵⁹ Lazerin etkinliği güç seviyesi, ışınlama süresi, ışığın dokulardaki emilimi, kanalın geometrisi, lazer ucun hedef dokuya uzaklığı gibi birçok faktöre bağlıdır.^{25,60-62}

CO₂ lazer uygulamasından sonra dentin geçirgenliğinin azaldığı ve büyük oranda morfolojik değişiklikler olduğu rapor edilmiştir.^{11,63,64} Bununla

beraber CO₂ lazer yüzeyde erime meydana getirip, dentindeki lezyonun ilerlemesini durdurarak kompozitin dentine daha iyi tutunmasına yardımcı olmaktadır.⁶⁵

Weichman ve ark., 1972 yılında apikal tıkama sağlamak için yaptıkları çalışmayı takiben ince fiberlerin geliştirilmesiyle beraber Nd:YAG lazerin kullanımı yaygınlaşmıştır.⁶⁶ Lazerle kök kanal duvarının modifikasyonu ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır.^{58,60,64,67-75} Bu çalışmalar sonucunda, debris ve "smear" tabakası uygun lazer parametreleri kullanılarak uzaklaştırılmış ve dentin geçirgenliğinin azaltılması sağlanmıştır.

Argon lazerin enstrümente edilmiş kök kanal yüzeylerinde etkili bir temizlik yapabileceği belirtilmiştir.^{76,77} Ancak, argon lazerin etkili bir şekilde debris ve "smear" tabakasını uzaklaştırmasına rağmen apikal sızıntıyı azaltmadığı rapor edilmiştir.^{70,77}

Er:YAG lazer de "smear" tabakasını kök kanalından başarılı bir şekilde uzaklaştırabilmektedir.⁷⁸ Takeda ve ark. yaptıkları çalışmada, Er:YAG lazerin smear tabakasını kaldırmada Nd:YAG lazer ve argon lazere göre daha üstün olduğunu göstermişlerdir.⁵⁸ Takeda ve ark. yaptıkları bir diğer çalışmada ise Er:YAG lazeri ve CO₂ lazeri karşılaştırmış, Er:YAG lazerin "smear" tabakasını uzaklaştırmada CO₂ lazerden daha üstün olduğunu bildirmişlerdir.⁵⁹ Yapılan bir SEM çalışmasında Er:YAG lazerin "smear" tabakasını buharlaştırarak etkili bir şekilde uzaklaştırabildiği ve açık dentin tübülleri ile temiz bir dentin yüzeyi elde edildiği gözlenmiştir.⁷⁹ Ancak, Kıvanç ve ark. yaptıkları SEM çalışmasında Er:YAG ve Nd:YAG lazerin smear tabakasını uzaklaştırmadığını bildirmiştir.⁸⁰

Er:YAG lazer ile aktive edilen sodyum hipoklorit (NaOCl)'in, kök kanalının apikal 1/3'lük kısmında dentin debrisini uzaklaştırmada pasif ultrasonik irrigasyon ve geleneksel irrigasyondan çok daha etkili olduğu bulunmuştur.⁸¹

Kök kanalı preparasyonundan sonra uygulanan Nd:YAG lazerin apikal sızıntıyı önemli oranda azalttığı rapor edilmiştir.⁷² Nd:YAG lazerin, debris ve "smear" tabakasının uzaklaştırılmasını sağlayarak kök kanalı dolgusu için daha uygun bir ortam

oluşturup apikal sızıntıyı azalttığı belirtilmiştir.⁷² Er:YAG lazer, “Ethylene Diamine Tetra Aceticacid Cetavlon (EDTAC)” ile benzer etki göstererek kök kanalı dolgu patlarının kanal duvarlarına adezyonlarını artırabilmektedir.⁸²⁻⁸⁴ Nd:YAG ve Er:YAG lazerin birlikte değerlendirildiği bir çalışmada güçten bağımsız olarak frekans arttıkça epoksi rezin içerikli patın adezyonunda artma olduğu bildirilmiş ve en düşük adezyon değerleri yalnızca %17 EDTAC kullanılan grupta belirlenmiştir.⁷⁴

Nd:YAG lazerin emilimini artırarak kök kanal duvarlarında daha etkili bir şekilde kullanılmasını sağlamak için siyah mürekkep kullanılmıştır.^{68,70,85,86} Ag(NH₃)₂F solüsyonu da lazerin etkinliğini artırmak için kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.^{86,87} Depraet ve ark. ise Nd:YAG lazerin siyah mürekkeple etkinliğinin artırılmasına rağmen apikal veya koronal sızıntıyı azaltmadığını bildirmiş ve tavsiye etmemişlerdir.⁶⁸

“Potassium titanyl phosphate (KTP)” lazerin de, debris ve “smear” tabakasını kaldırdığı gösterilse de, Tewfik ve ark. yaptıkları çalışmada yüzde değişiklik olduğunu ancak, “smear” tabakası ile kaplanmış dentinde geçirgenliği değiştirmediğini belirtmişlerdir.^{62,88}

Dankner ve ark. Xenon chlorine (XeCl) lazerin (308 nm dalga boyunda) dentinin mineral içeriği üzerine etkisini inceledikleri çalışmada, fosfor oranında önemli bir azalma, kalsiyum oranında ise kısmi bir azalma görülmesine karşın; sülfür ve potasyum oranlarında herhangi bir değişiklik gözlenmediğini bildirmişlerdir.⁸⁹ Yine aynı çalışmada morfolojik olarak, dentin tübüllerinin parsiyel yıkımıyla beraber erimiş yüzey meydana gelmiştir. Yapılan diğer çalışmalarda da, XeCl lazer uygulamasının dentin yüzeyinde erimeye neden olduğu ve dentin geçirgenliğini azalttığı rapor edilmiştir.^{90,91} 193 nm dalga boyunda kullanılan Ar-fluoride excimer lazer ise nispeten daha yüksek akımlarda (10-15 J/cm²) önemli oranda peritübüler dentin uzaklaştırılmasını sağlamıştır.⁹² SEM altında yapılan incelemede ise “smear” tabakasında erime ve yeniden katılma olduğu tespit edilmiştir.⁹²

2,10 µm dalga boyundaki Ho:YAG lazer ile ilgili yapılan çalışmalarda, dentinin bu yöntemle

uzaklaştırılabileceği sonucuna varılmıştır.^{93,94} Ayrıca “Nd:yttrium aluminum perovskite (YAP)” lazer de yapılan çalışmalarda kök kanal preparasyonu için tavsiye edilmiştir.^{95,96} “Retreatment” sırasında amalgam, kompozit, siman gibi restoratif materyallerin uzaklaştırılması için de Nd:YAP lazer kullanılabilir.⁹⁷ Moshonov ve ark. yaptıkları çalışmalarda Nd:YAP lazerin K-file ile birlikte kullanımının kanal temizliğini artırdığını tespit etmişlerdir.^{12,98}

Er,Cr:YSGG lazer ile kök kanalındaki bakterilerin elimine edilebileceği, debris ve “smear” tabakasının etkili bir şekilde kaldırılabilirliği belirtilmiştir.⁹⁹ De Moor ve ark. Er,Cr:YSGG lazer kullanılarak aktive edilmiş irrigasyonun “smear” tabakasını uzaklaştırmak için pasif ultrasonik irrigasyon ve geleneksel irrigasyondan daha etkili olduğunu bildirmişlerdir.¹⁰⁰ Bu çalışmada araştırmacılar lazerin “smear” tabakasını direkt buharlaştırmasından değil, lazer etkisiyle patlayan su baloncuklarının kaviteye etkisinden faydalanmışlardır. Er,Cr:YSGG lazer ışınlarının düz bir doğrultuda değil de, kanal duvarlarına doğru yayılmasını sağlayan fiber optik bir uçla yapılan çalışmalarda da, bakteri eliminasyonunda ve “smear” tabakasının uzaklaştırılmasında yüksek oranlarda başarı sağlanmıştır.^{24,101}

KÖK KANALLARININ DEZENFEKSİYONU

Bakteriler enfekte olmuş pulpadan kök kanal dentininin derin tabakalarına penetre olup komşu periapikal dokuda inflamasyon meydana getirebilir.¹⁰² Bu yüzden kök kanalı tedavisinin amaçlarından birisi de kök kanal dezenfeksiyonunun iyi bir şekilde yapılmasıdır.

Geleneksel olarak kök kanal dezenfeksiyonu kanalların mekanik enstrümantasyonu, dezenfekte edici irrigasyon solüsyonları ve seans aralarında kanala ilaç yerleştirilmesi gibi kimyasal-mekanik temizlikle sağlanmaktadır.¹⁰³⁻¹⁰⁵ Kök kanal tedavisinde kullanılan yıkama solüsyonları kök kanal sisteminde bulunan mikroorganizmalara kısmen etki edebilmektedir.⁹⁹ Patojen mikroorganizmalar dentin tübüllerine 1 mm’ye (1000 µm) kadar penetre olabilirken, kullanılan yıkama solüsyonları ancak,

100 µm derinliğe kadar etkili olabilmektedirler.^{106,107} Bununla beraber *Enterococcus faecalis* gibi bakteriler intra ve ekstraradiküler biyofilm oluşturarak mevcut durumu daha da zorlaştırabilmektedirler.^{108,109} Bu yüzden, günümüzde geçerli olan dezenfeksiyon yöntemlerine ek olarak çeşitli lazer sistemleri kullanılmıştır.¹¹⁰ Dental lazerler, debris ve “smear” tabakasını uzaklaştırmalarının yanı sıra iyi bir şekilde dentin tübüllerine penetre olabildiği için geleneksel yöntemlerle ulaşılamayan bölgelerde de etkili olabilmektedir.¹¹⁰⁻¹¹² Ayrıca dentin tübülleri, etkili bir şekilde fiber optik kanallar gibi ışığı farklı yönlere iletebilmektedir.¹¹³

CO₂ lazer (10 600 nm), Nd:YAG lazer (1064 nm), Er:YAG lazer (2940 nm) ve diyet lazer (810 veya 980 nm) gibi çok çeşitli lazerler dezenfeksiyon amacıyla kullanılmış olmasına rağmen Nd:YAG lazer bu amaçla en çok çalışılmış lazerdir. Nd:YAG lazer ile yaklaşık %99 oranında bakteri sayısında azalma sağlanabilmiştir.^{114,115} Folwaczny ve ark. ile Piccolmini ve ark. karşılaştırmalı çalışmalarında Nd:YAG lazerin kök kanalının bakteriyel içeriğini azalttığı, ancak NaOCl'e göre daha etkisiz olduğu sonucuna varmışlardır.^{116,117} Meire ve ark. Nd:YAG lazer, KTP lazer ve “photo-activated disinfection (PAD)” ve NaOCl karşılaştırdıkları çalışmada, *E. faecalis* üzerinde lazerlerin NaOCl den daha etkisiz olduklarını bulmuşlardır.¹¹⁰ Aynı çalışmada Nd:YAG ve KTP lazer süspansiyon içerisinde *E. faecalis* üzerinde herhangi bir etki göstermezken, PAD ve NaOCl önemli oranda azalma sağlamıştır. Yine aynı çalışmada *E. faecalis* ile enfekte edilmiş kök kanallarında PAD ve NaOCl, Nd:YAG ve KTP lazerden çok daha başarılı bulunmuştur. Schoop ve ark., dört farklı lazer sistemini (Nd:YAG, Er:YAG, Er,Cr:YSGG ve Diyet) farklı güçlerde kullandıkları çalışmada, 1,5 W'da bütün lazer sistemlerinin *Escherichia coli* üzerinde derin dentin tabakalarında bile çok etkili olduğunu ve özellikle Er:YAG ve diyet lazerin *E. faecalis*'e karşı çok etkili olduğunu bildirmişlerdir.¹¹⁸ Schoop ve ark. yaptıkları diğer bir çalışmada da, Er:YAG lazerin in vitro koşullarda bakteri eliminasyonunda etkili bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir.¹¹⁹ Vezani ve ark. ise çeşitli parametrelerde kullandıkları Er:YAG lazer ile %74,58-%89,50 arasında; %1 ve

%2,5 NaOCl ile sırasıyla %83,15 ve %84,46 oranlarında başarı elde etmişler ve Er:YAG lazerin NaOCl ile benzer oranlarda bakteri eliminasyonu sağladığını belirtmişlerdir.¹²⁰ Ancak, Er:YAG lazer bakteri eliminasyonunda başarılı sonuçlar vermesine karşın, bakteriyel endotoksinler üzerine herhangi bir etkisi bulunmamıştır.¹²¹

Lazer sistemleri derin dentin tabakalarında etkili olabildiği için geleneksel yöntemlere göre daha başarılı olabileceği düşünülmüştür. Bergmans ve ark. Nd:YAG lazer ile *E. faecalis* üzerinde %99,7 oranında eliminasyon sağlarken, kanalın steril hale gelmediğini, bu yüzden de Nd:YAG lazer tedavisinin kök kanal dezenfeksiyonunda günümüzde kullanılan protokole alternatif olmadığını; dentinde 1 mm derinliğe kadar etkili olabildiği için iyi bir destek olabileceğini belirtmişlerdir.¹²² Nd:YAG lazer 25 ms'de 500 µm derinlikte *E. faecalis* üzerinde %70 oranında eliminasyon sağlarken; 1000 µm derinlikte %50 oranında eliminasyon sağlamaktadır.⁷ Diyet lazer de (810 nm, 3 W, CW) 500 µm derinlikte *E. faecalis* üzerinde %74 oranında eliminasyon sağlamıştır.¹²³ 980 nm dalga boyunda diyet lazerle (2,8 W, CW) yapılan bir diğer çalışmada ise 500 µm derinlikte *E. faecalis* üzerinde %86 oranında eliminasyon sağlanmıştır.¹²⁴ Gouw-Soares ve ark. Ho:YAG lazer (2100 nm, 2W,5Hz) ile 500 µm derinlikte *E. faecalis* üzerinde %98,46 oranında başarı sağlamıştır.¹²⁵

“Bleaching” amacıyla kullanılan 532 nm dalga boyundaki KTP lazerin de antibakteriyel etkinliği olduğu gösterilmiştir.^{100,126} Schoop ve ark., KTP lazerin antibakteriyel etkinliğini gözlemlemiş ve bu lazerin kök kanal dezenfeksiyonunda kullanılabilirliğini belirtmişler, ancak, Meire ve ark. KTP lazerin *E. faecalis* üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığını bildirmişlerdir.^{110,127}

Yüksek güçlü lazerlerin etkisi, doza bağlı ısı oluşması ile meydana gelmektedir.^{128,129} Bu yüzden ortaya çıkan ısı dentinde yanma ve krater oluşturma veya periodontal dokularda kök rezorbsiyonu, ankiloz veya nekroz gibi istenmeyen etkilere yol açabilme riski taşımaktadır.^{68,130} Kök dış yüzeyinde dakikada 10°C'den fazla ısı artışının kemik ve periodontal dokularda nekroz, ankiloz ve eks-

ternal kök rezorbsiyonuna neden olabileceği rapor edilmiştir.¹²⁸ Yüksek güçteki lazerlerle oluşabilecek yanık, ankiloz, sementin erimesi, kök rezorbsiyonları ve nekroz gibi yan etkilerin üstesinden gelebilmek için yeni bir teknik geliştirilmiştir. “Lethal photosensitization” olarak adlandırılan bu yöntemde, ışığa duyarlı ajanların uygun dalga boyundaki ışıkla aktive edilerek bakterisit radikallerin ortaya çıkması sağlanıp bakteri eliminasyonu gerçekleştirilmektedir.¹²⁹ Açığa çıkan bu serbest radikallerin ulaşamayan bölgelerdeki mikroorganizmalara etki edip bakteri eliminasyonu sağlayabileceği düşünülmüştür.^{129,131} Toluidin mavisi 0 veya diğer adıyla “Tolonium Chloride” bu amaçla en çok kullanılan ajanlardan birisidir.¹³² Bu yöntemle, yaygın olarak oral kavitede bulunan birçok bakteri çeşidi üzerinde biyofilm oluşturmuş olsa bile etkili sonuçlar alınmıştır.¹³³ Işıkla aktive olan bir ajanın (toluidin mavisi) düşük güçteki bir lazerle aktive edilmesiyle yapılan bir çalışmada *Streptococcus intermedius* biyofilmi üzerinde etkili olduğu, ancak %3'lük NaOCl kadar etkili olmadığı görülmüştür.¹²⁹ Diğer taraftan Silva-Garcez ve ark. ışıkla aktive dezenfeksiyon yönteminin NaOCl'den daha başarılı olduğunu bildirmiştir.¹³⁴ Işıkla aktive olan dezenfeksiyonda etkinlik toluidin mavisinin konsantrasyonundan çok verilen ışığın dozu artırılarak artmaktadır.¹³² Aktivasyon ajanı olarak “polyethyleimine chlorine” kullanılan bir çalışmada ışıkla aktive dezenfeksiyon yöntemiyle geleneksel yöntemle kök kanal tedavisi kombine olarak uygulanmış ve mikroorganizma sayısında önemli oranda azalma gözlenmiştir.¹³⁵ Tek bir mikroorganizma için ışıkla aktive dezenfeksiyon kolaylıkla etkili olmasına rağmen, biyofilm söz konusu olduğu zaman etkinliği azalmaktadır.¹³⁶ Diğer taraftan, yapılan araştırmalarda ışıkla aktive dezenfeksiyon yönteminde kullanılan lazer ve ışığa duyarlı ajan tek başlarına kullanıldıklarında herhangi bir etki gözlemlenmemiştir.^{134,136} Geleneksel LED ışık kaynaklarıyla uygulandığında da ışıkla aktive dezenfeksiyon yöntemiyle oldukça başarılı sonuç alınmıştır.¹³⁷ Metilen mavisi ile uygulanan ışıkla aktivasyon dezenfeksiyon yöntemi terapötik dozlarda NaOCl'ye göre çok daha güvenli bulunmuş ve periapikal dokulara herhangi bir zararının

olmayacağı bildirilmiştir.¹³⁸ Bununla beraber ışıkla aktive dezenfeksiyon yönteminde ortaya çıkan ısı miktarı da periapikal dokular için herhangi bir tehlike göstermemektedir.¹³⁹

Kök kanalı dezenfeksiyonunda 980 nm dalga boyundaki diyot lazer, 1,5 W güçte atımlı ve devamlı operasyon modlarında güvenli bir şekilde kullanılabilirken; 3 W güçte ise atımlı modda 20 sn süre ile güvenli bir şekilde kullanılabilir. ¹⁴⁰ de Souza ve ark., “smear” tabakasını uzaklaştırdıktan sonra yüksek güçte diyot lazer (830 nm, 3 W) uyguladıklarında derin kök dentini tabakalarında *E. faecalis* üzerinde %100 başarı elde etmişlerdir.¹⁴¹ Radaelli ve ark. da, benzer şekilde yaptıkları çalışmada yüksek güçte diyot lazer (830 nm, 3 W) kullanmış ve *E. faecalis* üzerinde %96,5 oranında başarı sağlamışlardır; bununla beraber toplam ısı artışı miktarını 7,45°C olarak tespit etmiş ve bunun da canlı doku üzerinde güvenli olduğunu belirtmişlerdir.¹⁴² Ancak, kök yüzeyinde kullanılan Ga-Al-As diyot lazerin (809 nm) pulpa üzerinde zararlı olabileceği; alt kesici ve üst premolar dişlerde 10 sn süreyle 0,5 W, diğer dişler için ise 10 sn süreyle 1 W gücün aşılması gerektiği belirtilmiştir.¹⁴³ Ga-Al-As diyot lazer uygulamasıyla da (809 nm, 3W) yüksek oranlarda bakteri eliminasyonu sağlanabileceği belirtilmiş ve NaOCl/H₂O₂ kombinasyonu kullanılması tavsiye edilmiştir.¹⁴⁴ Pigmentli (*Porphyromonas gingivalis*) ve pigmentiz (*E. faecalis*, *E. coli*) bakteriler üzerine diyot (808 nm) ve Nd:YAG (1064 nm) lazerin direkt etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, kullanılan lazerlerin pigmentiz bakteriler üzerine neredeyse hiç etki etmediği, pigmentli bakterilerin sayısında ise diyot lazer ile %31; Nd:YAG lazer ile %57 oranında azalma gözlenmiştir.¹²⁸ Bu yüzden, lazerlerin etki mekanizmasında ısı artışının önemli rol oynadığı belirtilmiştir.¹²⁸

Er,Cr:YSGG lazerin de kök kanal dezenfeksiyonunda etkili olduğu yapılan çalışmalarla gösterilmiştir. Arnabat ve ark., Er,Cr:YSGG lazerin 2 W gücünde 60 sn süre ile kök kanalında kullanıldığında *E. faecalis* üzerinde %5'lik NaOCl kadar etkili olduğunu ve ortaya çıkan ortalama 3°C ısı artışının komşu dokular için herhangi bir zarar meydana getirmeyeceğini belirtmişlerdir.¹⁴⁵ Eldeniz ve ark. ise çalışmalarında Er,Cr:YSGG ile bakteri eliminasyonunda etkili olduğu yapılan çalışmalarla gösterilmiştir.

yonu sağlandığını, ancak %3 NaOCl kadar etkili olmadığı sonucuna varmışlardır.¹⁴⁶

KÖK KANAL PREPARASYONU

Kök kanalı dezenfeksiyonu ve şekillendirilmesinde kullanılan mevcut yöntemlerle daha çok, anatomik nedenlerden dolayı ulaşılamayan bölgeler kalmaktadır. Bu bölgelerden pulpa artıkları ve bakteriler tam olarak elimine edilemediği için tedavi başarısızlıkla sonuçlanabilmektedir. Kök kanalının lazer ile şekillendirilmesiyle bu problemin ortadan kaldırılabilmesi düşünülmüş ve bu konuda çeşitli araştırmalar yapılmıştır.¹⁴⁷

Önceleri kök kanal preparasyonu için Ho:YAG lazer, “Xenon Chloride Excimer” ve Nd:YAG lazer kullanılmış, ancak; diş sert dokularının bu dalga boylarında çok az absorpsiyon yapması olumlu sonuçlar vermemiştir.¹⁴⁸ Yapılan çalışmalarda diş sert dokularının kaldırılabilmesi için yüksek enerji seviyelerinin gerektiği; bunun da kök kanalının dış yüzeyindeki canlı dokularda ciddi oranda ısıl hasar meydana getirebileceği rapor edilmiştir.¹⁴⁸ Ancak günümüzde kullanılan lazer sistemleriyle kök kanalı preparasyonunun mümkün olabileceği yapılan çalışmalarla gösterilmiştir.¹⁴⁹⁻¹⁵¹ Bununla birlikte kök kanalı preparasyonu uygulamasında lazerlerin, oluşabilecek ısıdan dolayı komşu dokuların zarar görmesi ve eğri kanallarda kısıtlı kullanımı gibi bazı dezavantajları mevcuttur.^{68,128,149} Bu problemlerin aşılması için çok çeşitli uçlar geliştirilmesine rağmen henüz optimum şartları sağlayabilecek bir sistem geliştirilememiştir.^{23,24,57,152-154} Ayrıca, lazer uygulamaları ile meydana gelen yüzey değişikliklerinin dentini zayıflatabileceği ve kök kırıklarına neden olabileceği; Er:YAG lazerle su soğutmasıyla çalışıldığı zaman bu dezavantajın giderilebileceği rapor edilmiştir.¹⁵⁵

Inamoto ve ark. yaptıkları araştırmada, Er:YAG lazerin kök kanalı şekillendirilmesinde etkili olduğu sonucuna varmışlardır.¹⁴⁷ Enerjinin

%80’ini lateral olarak yayabilen kon şeklinde lazer ucu ile yapılan bir çalışmada da, Er:YAG lazerin kök kanalı preparasyonunda kullanılabilmesi ve süre açısından da avantaj sağlayabileceği belirtilmiştir.¹⁵¹ Benzer bir çalışmada da yine Er:YAG lazer ile yapılan kök kanalı preparasyonunda temiz, ancak düzensiz ve pürüzlü yüzeyler elde edilmiş, uygun parametreler kullanıldığında kök kanalı preparasyonunda kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.¹⁵⁰ Apikal bölgedeki debris de Er:YAG lazer ile uzaklaştırılabilmektedir.¹⁵⁶

10⁰’ye kadar eğimli olan kök kanallarında Er,Cr:YSGG ile başarılı bir kök kanal preparasyonu yapılabildiği gösterilmiştir.¹⁴⁹

Kök kanal genişletilmesinin yanı sıra Er:YAG lazer ve Nd:YAG lazer, “retreatment” yaparken kök kanalındaki gütaperkayı uzaklaştırmak için de etkili bir şekilde kullanılabilir.^{15,17} Nd:YAG lazerle kök kanalından gütaperka uzaklaştırılması uygulamasında ekstra çözücü kullanılmasının herhangi bir faydası yoktur.¹⁷ Yu ve ark. ise Nd:YAG lazer uyguladıkları in vitro çalışmada dişlerin %70’ten fazlasında gütaperkayı kanaldan tamamen uzaklaştırabilirken, %55’ten fazlasında da kırık aleti kanaldan uzaklaştırabilmişler ve 17-27°C arasında ısı artışı tespit etmişlerdir.¹⁵⁷ Anjo ve ark. da, Nd:YAG lazerin kök kanal dolgusunu uzaklaştırmak için geleneksel yöntemden üstün olduğunu ve çok daha kısa zaman gerektirdiğini belirtmiştir.¹⁵⁸

Sonuç olarak; lazerler, uygun parametreler belirlenerek, geleneksel yöntemlerle beraber veya tek başlarına vitalite testi, direkt pulpa kuafajı ve pulpektomi, kök kanallarının dezenfeksiyonu, kök kanallarının modifikasyonu ve kırık kanal aletleri veya gütaperka gibi yabancı cisimlerin kök kanalından uzaklaştırılması gibi alanlarda kullanılabilir. Gelişen teknoloji ile beraber lazerin endodontide önemli bir yere sahip olacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Emshoff R, Emshoff I, Moschen I, Strobl H. Laser Doppler flow measurements of pulpal blood flow and severity of dental injury. *Int Endod J* 2004;37(7):463-7.
- Emshoff R, Moschen I, Strobl H. Use of laser Doppler flowmetry to predict vitality of luxated or avulsed permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2004; 98(6):750-5.
- Roy E, Alliot-Licht B, Dajejan-Trutaud S, Fraysse C, Jean A, Armengol V. Evaluation of the ability of laser Doppler flowmetry for the assessment of pulp vitality in general dental practice. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;106(4):615-20.
- Hashemnia SM, Feizi G, Razavi SM, Feizianfard M, Gutknecht N, Mir M. A comparative study of three treatment methods of direct pulp capping in canine teeth of cats: a histologic evaluation. *Lasers Med Sci* 2010;25(1):9-15.
- Suzuki M, Katsumi A, Watanabe R, Shirono M, Katoh Y. Effects of an experimentally developed adhesive resin system and CO2 laser irradiation on direct pulp capping. *Oper Dent* 2005;30(6):702-18.
- Elliott RD, Roberts MW, Burkes J, Phillips C. Evaluation of the carbon dioxide laser on vital human primary pulp tissue. *Pediatr Dent* 1999; 21(6):327-31.
- Franzen R, Gutknecht N, Falken S, Heussen N, Meister J. Bactericidal effect of a Nd:YAG laser on *Enterococcus faecalis* at pulse durations of 15 and 25 ms in dentine depths of 500 and 1,000 μm . *Lasers Med Sci* 2011;26(1): 95-101.
- Garcez AS, Nuñez SC, Hamblim MR, Suzuki H, Ribeiro MS. Photodynamic therapy associated with conventional endodontic treatment in patients with antibiotic-resistant microflora: a preliminary report. *J Endod* 2010;36(9): 1463-6.
- Pirnat S, Lukac M, Ihan A. Thermal tolerance of *E. faecalis* to pulsed heating in the millisecond range. *Lasers Med Sci* 2011;26(2):229-37.
- Divito E, Peters OA, Olivi G. Effectiveness of the erbium:YAG laser and new design radial and stripped tips in removing the smear layer after root canal instrumentation. *Lasers Med Sci* 2012;27(2):273-80.
- Khan MA, Khan MF, Khan MW, Wakabayashi H, Matsumoto K. Effect of laser treatment on the root canal of human teeth. *Endod Dent Traumatol* 1997;13(3):139-45.
- Moshonov J, Peretz B, Brown T, Rotstein I. Cleaning of the root canal using Nd:YAP laser and its effect on the mineral content of the dentin. *J Clin Laser Med Surg* 2003;21(5):279-82.
- Moogi PP, Rao RN. Cleaning and shaping the root canal with an Nd:YAG laser beam: a comparative study. *J Conserv Dent* 2010;13(2):84-8.
- Roper MJ, White JM, Goodis HE, Gekelman D. Two-dimensional changes and surface characteristics from an erbium laser used for root canal preparation. *Lasers Surg Med* 2010;42(5):379-83.
- Tachinami H, Katsuumi I. Removal of root canal filling materials using Er:YAG laser irradiation. *Dent Mater J* 2010;29(3):246-52.
- Takashina M, Ebihara A, Sunakawa M, Anjo T, Takeda A, Suda H. The possibility of dowel removal by pulsed Nd:YAG laser irradiation. *Lasers Surg Med* 2002;31(4):268-74.
- Vidučić D, Jukić S, Karlović Z, Božić Z, Miletić I, Anić I. Removal of gutta-percha from root canals using an Nd:YAG laser. *Int Endod J* 2003;36(10):670-3.
- Mizrahi SJ, Tucker JW, Seltzer S. A scanning electron microscopic study of the efficacy of various endodontic instruments. *J Endod* 1975;1(10):324-33.
- Bystrom A, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. *Scand J Dent Res* 1981;89(4):321-8.
- Sjogren U, Hagglund B, Sundqvist G, Wing K. Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endod* 1990;16(10):498-504.
- Peters OA, Schönenberger K, Laib A. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int Endod J* 2001;34(3):221-30.
- Gutknecht N, Kaiser F, Hassan A, Lampert F. Long-term clinical evaluation of endodontically treated teeth by Nd:YAG lasers. *J Clin Laser Med Surg* 1996;14(1):7-11.
- George R, Walsh LJ. Thermal effects from modified endodontic laser tips used in the apical third of root canals with erbium-doped yttrium aluminium garnet and erbium, chromium-doped yttrium scandium gallium garnet lasers. *Photomed Laser Surg* 2010; 28(2):161-5.
- Gordon W, Atabakhsh VA, Meza F, Doms A, Nissan R, Rizoiu I, et al. The antimicrobial efficacy of the erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet laser with radial emitting tips on root canal dentin walls infected with *Enterococcus faecalis*. *J Am Dent Assoc* 2007;138(7):992-1002.
- Moshonov J, Sion A, Kasirer J, Rotstein I, Stabholz A. Efficacy of argon laser irradiation in removing intracanal debris. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1995; 79(2):221-5.
- Moritz A, Gutknecht N, Goharkhay K, Schoop U, Wernisch J, Sperr W. In vitro irradiation of infected root canals with a diode laser: results of microbiologic, infrared spectrometric, and stain penetration examinations. *Quintessence Int* 1997;28(3):205-9.
- Kimura Y, Wilder-Smith P, Matsumoto K. Lasers in endodontics: a review. *Int Endod J* 2000;33(3):173-85.
- Yasuda Y, Kawamorita T, Yamaguchi H, Saito T. Bactericidal effect of Nd:YAG and Er:YAG lasers in experimentally infected curved root canals. *Photomed Laser Surg* 2010;28 Suppl 2:S75-8.
- Yanpiset K, Vongsavan N, Sigurdsson A, Trope M. Efficacy of laser Doppler flowmetry for the diagnosis of revascularization of reimplanted immature dog teeth. *Dent Traumatol* 2001;17(2):63-70.
- Emshoff R, Emshoff I, Moschen I, Strobl H. Diagnostic characteristics of pulpal blood flow levels associated with adverse outcomes of luxated permanent maxillary incisors. *Dent Traumatol* 2004;20(5):270-5.
- Evans D, Reid J, Strang R, Stirrups D. A comparison of laser Doppler flowmetry with other methods of assessing the vitality of traumatised anterior teeth. *Endod Dent Traumatol* 1999;15(6):284-90.
- Wilder-Smith PE. A new method for the non-invasive measurement of pulpal blood flow. *Int Endod J* 1988;21(5):307-12.
- Roebuck EM, Evans DJ, Stirrups D, Strang R. The effect of wavelength, bandwidth, and probe design and position on assessing the vitality of anterior teeth with laser Doppler flowmetry. *Int J Paediatr Dent* 2000;10(3):213-20.
- Jafarzadeh H. Laser Doppler flowmetry in endodontics: a review. *Int Endod J* 2009;42(6): 476-90.
- Matsumoto K. Lasers in endodontics. *Dent Clin North Am* 2000;44(4):889-906.
- Ikawa M, Komatsu H, Ikawa K, Mayanagi H, Shimauchi H. Age-related changes in the human pulpal blood flow measured by laser Doppler flowmetry. *Dent Traumatol* 2003; 19(1):36-40.
- Watson AD, Pitt Ford TR, McDonald F. Blood flow changes in the dental pulp during limited exercise measured by laser Doppler flowmetry. *Int Endod J* 1992;25(2):82-7.
- Fernieini EM, Bennett JD, Silverman DG, Hałaszyński TM. Hemodynamic assessment of local anesthetic administration by laser Doppler flowmetry. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2001;91(5):526-30.

39. Terakawa Y, Handa M, Ichinohe T, Kaneko Y. Epinephrine in local anesthetic cancels increase in tongue mucosal blood flow after stellate ganglion block in rabbit. *Bull Tokyo Dent Coll* 2007;48(1):37-42.
40. Ahn J, Pogrel MA. The effects of 2% lidocaine with 1:100,000 epinephrine on pulpal and gingival blood flow. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1998;85(2):197-202.
41. Schuur AH, Gruythuysen RJ, Wesselink PR. Pulp capping with adhesive resin-based composite vs. calcium hydroxide: a review. *Endod Dent Traumatol* 2000;16(6):240-50.
42. Torabinejad M, Chivian N. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *J Endod* 1999; 25(3):197-205.
43. Ferriello V, Faria MR, Cavalcanti BN. The effects of low-level diode laser treatment and dental pulp-capping materials on the proliferation of L-929 fibroblasts. *J Oral Sci* 2010; 52(1):33-8.
44. Melcer J, Chaumette MT, Melcer F. Dental pulp exposed to the CO₂ laser beam. *Lasers Surg Med* 1987;7(4):347-52.
45. Moritz A, Schoop U, Goharkhay K, Sperr W. Advantages of a pulsed CO₂ laser in direct pulp capping: a long-term in vivo study. *Lasers Surg Med* 1998;22(5):288-93.
46. Moritz A, Schoop U, Goharkhay K, Sperr W. The CO₂ laser as an aid in direct pulp capping. *J Endod* 1998;24(4):248-51.
47. Ohbayashi E, Matsushima K, Hosoya S, Abiko Y, Yamazaki M. Stimulatory effect of laser irradiation on calcified nodule formation in human dental pulp fibroblasts. *J Endod* 1999; 25(1):30-3.
48. Ueda Y, Shimizu N. Effects of pulse frequency of low-level laser therapy (LLL) on bone nodule formation in rat calvarial cells. *J Clin Laser Med Surg* 2003;21(5):271-7.
49. Yasuda Y, Ohtomo E, Tsukuba T, Okamoto K, Saito T. Carbon dioxide laser irradiation stimulates mineralization in rat dental pulp cells. *Int Endod J* 2009;42(10):940-6.
50. Linde A. Dentin matrix proteins: composition and possible functions in calcification. *Anat Rec* 1989;224(2):154-66.
51. Cozean C, Arcoria CJ, Pelagalli J, Powell GL. Dentistry for the 21st century? Erbium:YAG laser for teeth. *J Am Dent Assoc* 1997;128(8): 1080-7.
52. Jayawardena JA, Kato J, Moriya K, Takagi Y. Pulpal response to exposure with Er:YAG laser. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2001;91(2):222-9.
53. Dang J, Wilder-Smith P, Peavy GM. Clinical preconditions and treatment modality: effects on pulp surgery outcome. *Lasers Surg Med* 1998;22(1):25-9.
54. Wilder-Smith P, Peavy GM, Nielsen D, Arrastia-Jitosho AM. CO₂ laser treatment of traumatic pulpal exposures in dogs. *Lasers Surg Med* 1997;21(5):432-7.
55. Fogel HM, Pashley DH. Dentin permeability: effects of endodontic procedures on root slabs. *J Endod* 1990;16(9):442-5.
56. Weichman JA, Johnson FM. Laser use in endodontics. A preliminary investigation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1971;31(3):416-20.
57. Takeda FH, Harashima T, Kimura Y, Matsumoto K. Efficacy of Er:YAG laser irradiation in removing debris and smear layer on root canal walls. *J Endod* 1998;24(8):548-51.
58. Takeda FH, Harashima T, Kimura Y, Matsumoto K. Comparative study about the removal of smear layer by three types of laser devices. *J Clin Laser Med Surg* 1998;16(2): 117-22.
59. Takeda FH, Harashima T, Kimura Y, Matsumoto K. A comparative study of the removal of smear layer by three endodontic irrigants and two types of laser. *Int Endod J* 1999;32(1): 32-9.
60. Dederich DN, Zakariasen KL, Tulip J. Scanning electron microscopic analysis of canal wall dentin following neodymium-yttrium-aluminum-garnet laser irradiation. *J Endod* 1984;10(9):428-31.
61. Onal B, Ertl T, Siebert G, Müller G. Preliminary report on the application of pulsed CO₂ laser radiation on root canals with AgCl fibers: a scanning and transmission electron microscopic study. *J Endod* 1993;19(6):272-6.
62. Tewfik HM, Pashley DH, Horner JA, Sharawy MM. Structural and functional changes in root dentin following exposure to KTP/532 laser. *J Endod* 1993;19(10):492-7.
63. Pashley EL, Horner JA, Liu M, Kim S, Pashley DH. Effects of CO₂ laser energy on dentin permeability. *J Endod* 1992;18(6):257-62.
64. Anic I, Tachibana H, Masumoto K, Qi P. Permeability, morphologic and temperature changes of canal dentine walls induced by Nd:YAG, CO₂ and argon lasers. *Int Endod J* 1996;29(1):13-22.
65. Featherstone JD, Nelson DG. Laser effects on dental hard tissues. *Adv Dent Res* 1987;1(1): 21-6.
66. Weichman JA, Johnson FM, Nitta LK. Laser use in endodontics. II. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1972;34(5):828-30.
67. de Moura-Netto C, de Freitas Carvalho C, de Moura AA, Davidowicz H, Antoniazzi JH. Influence of Nd:YAG and diode laser irradiation on apical sealing when associated with AH plus and EndoREZ endodontic cements. *Photomed Laser Surg* 2007;25(5):413-7.
68. Depraet FJ, De Bruyne MA, De Moor RJ. The sealing ability of an epoxy resin root canal sealer after Nd:YAG laser irradiation of the root canal. *Int Endod J* 2005;38(5):302-9.
69. Esteves-Oliveira M, de Guglielmi CA, Ramalho KM, Arana-Chavez VE, de Eduardo CP. Comparison of dentin root canal permeability and morphology after irradiation with Nd:YAG, Er:YAG, and diode lasers. *Lasers Med Sci* 2010;25(5):755-60.
70. Kimura Y, Yamazaki R, Goya C, Tomita Y, Yokoyama K, Matsumoto K. A comparative study on the effects of three types of laser irradiation at the apical stop and apical leakage after obturation. *J Clin Laser Med Surg* 1999; 17(6):261-6.
71. Meire M, Mavridou A, Dewilde N, Hommez G, De Moor RJ. Longitudinal study on the influence of Nd:YAG laser irradiation on microleakage associated with two filling techniques. *Photomed Laser Surg* 2009;27(4): 611-6.
72. Park DS, Lee HJ, Yoo HM, Oh TS. Effect of Nd:YAG laser irradiation on the apical leakage of obturated root canals: an electrochemical study. *Int Endod J* 2001;34(4):318-21.
73. Saunders WP, Whitters CJ, Strang R, Moseley H, Payne AP, McGadey J. The effect of an Nd:YAG pulsed laser on the cleaning of the root canal and the formation of a fused apical plug. *Int Endod J* 1995;28(4):213-20.
74. Sousa-Neto MD, Silva Coelho FI, Marchesan MA, Alfredo E, Silva-Sousa YT. Ex vivo study of the adhesion of an epoxy-based sealer to human dentine submitted to irradiation with Er:YAG and Nd:YAG lasers. *Int Endod J* 2005; 38(12):866-70.
75. Zapletalová Z, Perina J Jr, Novotný R, Chmelíková H. Suitable conditions for sealing of open dentinal tubules using a pulsed Nd:YAG laser. *Photomed Laser Surg* 2007; 25(6):495-9.
76. Harashima T, Takeda FH, Zhang C, Kimura Y, Matsumoto K. Effect of argon laser irradiation on instrumented root canal walls. *Endod Dent Traumatol* 1998;14(1):26-30.
77. Yamazaki R, Goya C, Tomita Y, Kimura Y, Matsumoto K. Study on apical leakage of the teeth after argon laser treatment and obturation. *J Clin Laser Med Surg* 1999;17(3):121-5.
78. Biedma BM, Varela Patiño P, Park SA, Barciela Castro N, Magán Muñoz F, González Bahillo JD, et al. Comparative study of root canals instrumented manually and mechanically, with and without Er:YAG laser. *Photomed Laser Surg* 2005;23(5):465-9.
79. Takeda FH, Harashima T, Eto JN, Kimura Y, Matsumoto K. Effect of Er:YAG laser treatment on the root canal walls of human teeth: an SEM study. *Endod Dent Traumatol* 1998; 14(6):270-3.
80. Helvacıoğlu Kivanc B, Atasoy Ulusoy OI, Gorgul G. Effects of Er:YAG laser and Nd:YAG laser treatment on the root canal dentin of human teeth: a SEM study. *Lasers Med Sci* 2008;23(3):247-52.

81. de Groot SD, Verhaagen B, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR, van der Sluis LW. Laser-activated irrigation within root canals: cleaning efficacy and flow visualization. *Int Endod J* 2009;42(12):1077-83.
82. Pecora JD, Cusoli AL, Guerisoli DM, Marchesan MA, Sousa-Neto MD, Brugnera Junior A. Evaluation of Er:YAG laser and EDTAC on dentin adhesion of six endodontic sealers. *Braz Dent J* 2001;12(1):27-30.
83. Picoli F, Brugnera-Junior A, Saquy PC, Guerisoli DM, Pecora JD. Effect of Er:YAG laser and EDTAC on the adhesiveness to dentine of different sealers containing calcium hydroxide. *Int Endod J* 2003;36(7):472-5.
84. Sousa-Neto MD, Marchesan MA, Pecora JD, Junior AB, Silva-Sousa YT, Saquy PC. Effect of Er:YAG laser on adhesion of root canal sealers. *J Endod* 2002;28(3):185-7.
85. Goya C, Yamazaki R, Tomita Y, Kimura Y, Matsumoto K. Effects of pulsed Nd:YAG laser irradiation on smear layer at the apical stop and apical leakage after obturation. *Int Endod J* 2000;33(3):266-71.
86. Zhang C, Kimura Y, Matsumoto K, Harashima T, Zhou H. Effects of pulsed Nd:YAG laser irradiation on root canal wall dentin with different laser initiators. *J Endod* 1998;24(5):352-5.
87. Eto JN, Niu W, Takeda FH, Kimura Y, Matsumoto K. Morphological and atomic analytical changes of root canal wall dentin after treatment with thirty-eight percent Ag(NH₃)₂F solution and CO₂ laser. *J Clin Laser Med Surg* 1999;17(1):19-24.
88. Machida T, Wilder-Smith P, Arrastia AM, Liaw LH, Berns MW. Root canal preparation using the second harmonic KTP:YAG laser: a thermographic and scanning electron microscopic study. *J Endod* 1995;21(2):88-91.
89. Dankner E, Neev J, Stabholz A, Rotstein I. Effect of XeCl-308nm excimer laser on the mineral content of human dentin. *Endod Dent Traumatol* 1997;13(5):234-7.
90. Kumar AR, Rao CV, Parameswaran A, Kishen A, Lim CS. Scanning electron microscopic and energy dispersive spectrometric investigations on the effect of XeCl excimer laser on human dentin with smear layer. *J Oral Rehabil* 2002;29(10):1003-9.
91. Stabholz A, Rotstein L, Neev J, Moshonov J, Stabholz A. Efficacy of XeCl 308-nm excimer laser in reducing dye penetration through coronal dentinal tubules. *J Endod* 1995;21(5):266-8.
92. Stabholz A, Neev J, Liaw LH, Khayat A, Torabinejad M. Effect of ArF-193 nm excimer laser on human dentinal tubules. A scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1993;75(1):90-4.
93. Cernavin I. A comparison of the effects of Nd:YAG and Ho:YAG laser irradiation on dentine and enamel. *Aust Dent J* 1995;40(2):79-84.
94. Stevens BH, Trowbridge HO, Harrison G, Silvertown SF. Dentin ablation by Ho:YAG laser: correlation of energy versus volume using stereophotogrammetry. *J Endod* 1994;20(5):246-9.
95. Blum JY, Abadie MJ. Study of the Nd:YAP laser. Effect on canal cleanliness. *J Endod* 1997;23(11):669-75.
96. Farge P, Nahas P, Bonin P. In vitro study of a Nd:YAP laser in endodontic retreatment. *J Endod* 1998;24(5):359-63.
97. Blum JY, Peli JF, Abadie MJ. Effects of the Nd:YAP laser on coronal restorative materials: implications for endodontic retreatment. *J Endod* 2000;26(10):588-92.
98. Moshonov J, Peretz B, Brown T, Rotstein I. Cleaning of the root canal using Nd:YAP laser and its effect on the mineral content of the dentin. *J Clin Laser Med Surg* 2004;22(2):87-9.
99. Schoop U, Goharkhay K, Klimscha J, Zagler M, Wernisch J, Georgopoulos A, et al. The use of the erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet laser in endodontic treatment: the results of an in vitro study. *J Am Dent Assoc* 2007;138(7):949-55.
100. De Moor RJ, Blanken J, Meire M, Verdaasdonk R. Laser induced explosive vapor and cavitation resulting in effective irrigation of the root canal. Part 2: evaluation of the efficacy. *Lasers Surg Med* 2009;41(7):520-3.
101. Schoop U, Barylyak A, Goharkhay K, Beer F, Wernisch J, Georgopoulos A, et al. The impact of an erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet laser with radial-firing tips on endodontic treatment. *Lasers Med Sci* 2009;24(1):59-65.
102. Nair PN, Sjögren U, Krey G, Kahnberg KE, Sundqvist G. Intraradicular bacteria and fungi in root-filled, asymptomatic human teeth with therapy-resistant periapical lesions: a long-term light and electron microscopic follow-up study. *J Endod* 1990;16(12):580-8.
103. Byström A, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of the effect of 0.5 percent sodium hypochlorite in endodontic therapy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1983;55(3):307-12.
104. Byström A, Sundqvist G. The antibacterial action of sodium hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontic therapy. *Int Endod J* 1985;18(1):35-40.
105. Sjögren U, Figdor D, Spångberg L, Sundqvist G. The antimicrobial effect of calcium hydroxide as a short-term intracanal dressing. *Int Endod J* 1991;24(3):119-25.
106. Berutti E, Marini R, Angeretti A. Penetration ability of different irrigants into dentinal tubules. *J Endod* 1997;23(12):725-7.
107. Kouchi Y, Ninomiya J, Yasuda H, Fukui K, Moriyama T, Okamoto H. Location of *Streptococcus mutans* in the dentinal tubules of open infected root canals. *J Dent Res* 1980;59(12):2038-46.
108. Distel JW, Hatton JF, Gillespie MJ. Biofilm formation in medicated root canals. *J Endod* 2002;28(10):689-93.
109. Noiri Y, Ehara A, Kawahara T, Takemura N, Ebisu S. Participation of bacterial biofilms in refractory and chronic periapical periodontitis. *J Endod* 2002;28(10):679-83.
110. Meire MA, De Prijk K, Coenye T, Nelis HJ, De Moor RJ. Effectiveness of different laser systems to kill *Enterococcus faecalis* in aqueous suspension and in an infected tooth model. *Int Endod J* 2009;42(4):351-9.
111. Klinke T, Klimm W, Gutknecht N. Antibacterial effects of Nd:YAG laser irradiation within root canal dentin. *J Clin Laser Med Surg* 1997;15(1):29-31.
112. Vaarkamp J, ten Bosch JJ, Verdonschot EH. Propagation of light through human dental enamel and dentine. *Caries Res* 1995;29(1):8-13.
113. Odor TM, Watson TF, Pitt Ford TR, McDonald F. Pattern of transmission of laser light in teeth. *Int Endod J* 1996;29(4):228-34.
114. Moritz A, Jakolitsch S, Goharkhay K, Schoop U, Kluger W, Mallinger R, et al. Morphologic changes correlating to different sensitivities of *Escherichia coli* and *enterococcus faecalis* to Nd:YAG laser irradiation through dentin. *Lasers Surg Med* 2000;26(3):250-61.
115. Moritz A, Schoop U, Goharkhay K, Jakolitsch S, Kluger W, Wernisch J, et al. The bactericidal effect of Nd:YAG, Ho:YAG, and Er:YAG laser irradiation in the root canal: an in vitro comparison. *J Clin Laser Med Surg* 1999;17(4):161-4.
116. Folwaczny M, Mehl A, Jordan C, Hickel R. Antibacterial effects of pulsed Nd:YAG laser radiation at different energy settings in root canals. *J Endod* 2002;28(1):24-9.
117. Piccolomini R, D'Arcangelo C, D'Ercole S, Catamo G, Schiaffino G, De Fazio P. Bacteriologic evaluation of the effect of Nd:YAG laser irradiation in experimental infected root canals. *J Endod* 2002;28(4):276-8.
118. Schoop U, Kluger W, Moritz A, Nedjelik N, Georgopoulos A, Sperr W. Bactericidal effect of different laser systems in the deep layers of dentin. *Lasers Surg Med* 2004;35(2):111-6.
119. Schoop U, Moritz A, Kluger W, Patruta S, Goharkhay K, Sperr W, et al. The Er:YAG laser in endodontics: results of an in vitro study. *Lasers Surg Med* 2002;30(5):360-4.
120. Vezzani MS, Pietro R, Silva-Sousa YT, Brugnera-Junior A, Sousa-Neto MD. Disinfection of root canals using Er:YAG laser at different frequencies. *Photomed Laser Surg* 2006;24(4):499-502.

121. Rocha RA, Silva RA, Assed S, Medeiros AI, Faccioli LH, Pécora JD, et al. Nitric oxide detection in cell culture exposed to LPS after Er:YAG laser irradiation. *Int Endod J* 2009; 42(11):992-6.
122. Bergmans L, Moisiadis P, Teughels W, Van Meerbeek B, Quirynen M, Lambrechts P. Bactericidal effect of Nd:YAG laser irradiation on some endodontic pathogens ex vivo. *Int Endod J* 2006;39(7):547-57.
123. Gutknecht N, van Gogswaardt D, Conrads G, Apel C, Schubert C, Lampert F. Diode laser radiation and its bactericidal effect in root canal wall dentin. *J Clin Laser Med Surg* 2000; 18(2):57-60.
124. Gutknecht N, Franzen R, Schippers M, Lampert F. Bactericidal effect of a 980-nm diode laser in the root canal wall dentin of bovine teeth. *J Clin Laser Med Surg* 2004;22(1):9-13.
125. Gouw-Soares S, Gutknecht N, Conrads G, Lampert F, Matson E, Eduardo CP. The bactericidal effect of Ho:YAG laser irradiation within contaminated root dentinal samples. *J Clin Laser Med Surg* 2000;18(2):81-7.
126. Kuştarci A, Sümer Z, Altunbaş D, Koşum S. Bactericidal effect of KTP laser irradiation against *Enterococcus faecalis* compared with gaseous ozone: an ex vivo study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2009; 107(5):e73-9.
127. Schoop U, Kluger W, Dervisbegovic S, Goharkhay K, Wernisch J, Georgopoulos A, et al. Innovative wavelengths in endodontic treatment. *Lasers Surg Med* 2006;38(6):624-30.
128. Pirnat S, Lukac M, Ihan A. Study of the direct bactericidal effect of Nd:YAG and diode laser parameters used in endodontics on pigmented and nonpigmented bacteria. *Lasers Med Sci* 2011;26(6):755-61.
129. Seal GJ, Ng YL, Spratt D, Bhatti M, Gulabivala K. An in vitro comparison of the bactericidal efficacy of lethal photosensitization or sodium hypochlorite irrigation on *Streptococcus intermedius* biofilms in root canals. *Int Endod J* 2002;35(3):268-74.
130. Bahcall J, Howard P, Miserendino L, Walia H. Preliminary investigation of the histological effects of laser endodontic treatment on the periradicular tissues in dogs. *J Endod* 1992;18(2): 47-51.
131. Wilson M, Dobson J, Harvey W. Sensitization of oral bacteria to killing by low-power laser radiation. *Curr Microbiol* 1992;25(2):77-81.
132. Williams JA, Pearson GJ, Colles MJ. Antibacterial action of photoactivated disinfection {PAD} used on endodontic bacteria in planktonic suspension and in artificial and human root canals. *J Dent* 2006;34(6):363-71.
133. Dobson J, Wilson M. Sensitization of oral bacteria in biofilms to killing by light from a low-power laser. *Arch Oral Biol* 1992;37(11): 883-7.
134. Silva Garcez A, Núñez SC, Lage-Marques JL, Jorge AO, Ribeiro MS. Efficiency of NaOCl and laser-assisted photosensitization on the reduction of *Enterococcus faecalis* in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006;102(4):e93-8.
135. Garcez AS, Núñez SC, Hamblin MR, Ribeiro MS. Antimicrobial effects of photodynamic therapy on patients with necrotic pulps and periapical lesion. *J Endod* 2008;34(2):138-42.
136. Bergmans L, Moisiadis P, Huybrechts B, Van Meerbeek B, Quirynen M, Lambrechts P. Effect of photo-activated disinfection on endodontic pathogens ex vivo. *Int Endod J* 2008; 41(3):227-39.
137. Schlafer S, Vaeth M, Hørsted-Bindslev P, Frandsen EV. Endodontic photoactivated disinfection using a conventional light source: an in vitro and ex vivo study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2010;109(4): 634-41.
138. Xu Y, Young MJ, Battaglino RA, Morse LR, Fontana CR, Pagonis TC, et al. Endodontic antimicrobial photodynamic therapy: safety assessment in mammalian cell cultures. *J Endod* 2009;35(11):1567-72.
139. Dickers B, Lamard L, Peremans A, Geerts S, Lamy M, Limme M, et al. Temperature rise during photo-activated disinfection of root canals. *Lasers Med Sci* 2009;24(1):81-5.
140. Alfredo E, Marchesan MA, Sousa-Neto MD, Brugnera-Júnior A, Silva-Sousa YT. Temperature variation at the external root surface during 980-nm diode laser irradiation in the root canal. *J Dent* 2008;36(7):529-34.
141. de Souza EB, Cai S, Simonato MR, Lage-Marques JL. High-power diode laser in the disinfection in depth of the root canal dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;106(1):e68-72.
142. Radaelli CM, Zedeli DM, Cai S, Antunes A, Gouw-Soares SC. Effect of a high power diode laser irradiation in root canals contaminated with *Enterococcus faecalis*. "In vitro study". *Int Congr Ser* 2003;1248:273-76.
143. Kreisler M, Al-Haj H, D'Hoedt B. Intrapulpal temperature changes during root surface irradiation with an 809-nm GaAlAs laser. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2002;93(6):730-5.
144. Kreisler M, Kohnen W, Beck M, Al Haj H, Christoffers AB, Götz H, et al. Efficacy of NaOCl/H₂O₂ irrigation and GaAlAs laser in decontamination of root canals in vitro. *Lasers Surg Med* 2003;32(3):189-96.
145. Arnabat J, Escobedo C, Fenosa A, Vinuesa T, Gay-Escoda C, Berini L, et al. Bactericidal activity of erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet laser in root canals. *Lasers Med Sci* 2010;25(6):805-10.
146. Eldeniz AU, Ozer F, Hadimli HH, Erganis O. Bactericidal efficacy of Er,Cr:YSGG laser irradiation against *Enterococcus faecalis* compared with NaOCl irrigation: an ex vivo pilot study. *Int Endod J* 2007;40(2):112-9.
147. Inamoto K, Horiba N, Senda S, Naitoh M, Ariji E, Senda A, et al. Possibility of root canal preparation by Er:YAG laser. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2009; 107(1):e47-55.
148. Cohen BI, Deutsch AS, Musikant BL. Effect of power settings on temperature change at the root surface when using a Holmium YAG laser in enlarging the root canal. *J Endod* 1996; 22(11):596-9.
149. Matsuoka E, Jayawardena JA, Matsumoto K. Morphological study of the Er,Cr:YSGG laser for root canal preparation in mandibular incisors with curved root canals. *Photomed Laser Surg* 2005;23(5):480-4.
150. Matsuoka E, Yonaga K, Kinoshita J, Kimura Y, Matsumoto K. Morphological study on the capability of Er:YAG laser irradiation for root canal preparation. *J Clin Laser Med Surg* 2000;18(4):215-9.
151. Shoji S, Hariu H, Horiuchi H. Canal enlargement by Er:YAG laser using a cone-shaped irradiation tip. *J Endod* 2000;26(8):454-8.
152. Alves PR, Aranha N, Alfredo E, Marchesan MA, Brugnera Junior A, Sousa-Neto MD. Evaluation of hollow fiberoptic tips for the conduction of Er:YAG laser. *Photomed Laser Surg* 2005;23(4):410-5.
153. Kesler G, Gal R, Kesler A, Koren R. Histological and scanning electron microscope examination of root canal after preparation with Er:YAG laser microprobe: a preliminary in vitro study. *J Clin Laser Med Surg* 2002;20(5):269-77.
154. Lee BS, Jeng JH, Lin CP, Shoji S, Lan WH. Thermal effect and morphological changes induced by Er:YAG laser with two kinds of fiber tips to enlarge the root canals. *Photomed Laser Surg* 2004;22(3):191-7.
155. Watanabe S, Saegusa H, Anjo T, Ebihara A, Kobayashi C, Suda H. Dentin strain induced by laser irradiation. *Aust Endod J* 2010;36(2): 74-8.
156. Matsuoka E, Kimura Y, Matsumoto K. Studies on the removal of debris near the apical seats by Er:YAG laser and assessment with a fibroscope. *J Clin Laser Med Surg* 1998;16(5):255-61.
157. Yu DG, Kimura Y, Tomita Y, Nakamura Y, Watanabe H, Matsumoto K. Study on removal effects of filling materials and broken files from root canals using pulsed Nd:YAG laser. *J Clin Laser Med Surg* 2000;18(1):23-8.
158. Anjo T, Ebihara A, Takeda A, Takashina M, Sunakawa M, Suda H. Removal of two types of root canal filling material using pulsed Nd:YAG laser irradiation. *Photomed Laser Surg* 2004;22(6):470-6.